



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08304493 A**(43) Date of publication of application: **22.11.96**

(51) Int. Cl.

G01R 29/08
G06F 17/00
(21) Application number: **07104934**(22) Date of filing: **28.04.95**(71) Applicant: **FUJITSU LTD**
(72) Inventor: **OTSU SHINICHI**
MUKAI MAKOTO
**(54) CALCULATION DEVICE OF INTENSITY OF
ELECTROMAGNETIC FIELD**

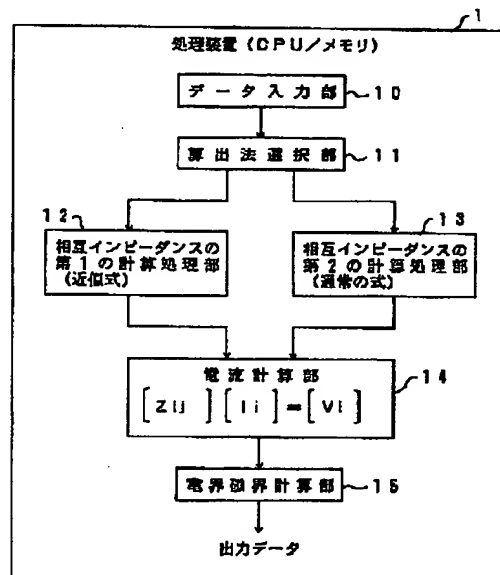
second calculation section 13 is selected.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To prevent the deterioration of accuracy due to digit dropping in the impedance calculation and to calculate with high accuracy at a high speed in terms of an electromagnetic field intensity calculation device which calculates an electromagnetic field intensity that an electric circuitry device emits by utilizing a moment method.

CONSTITUTION: The title device comprises a first calculation operation section 12 that calculates a mutual impedance by using an approximation equation wherein a part of an exponential function is equivalent to a constant in the integration of a monopole and a second calculation operation section 13 that calculates the mutual impedance by using a normal equation. An adopting condition on the basis of an electric length of an element subjected to the calculating of the mutual impedance and an electric length of a distance between the elements is judged by means of a calculation method selection section 11 so that determination is made as to which of the first calculation operation section 12 or



THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-304493

(43) 公開日 平成8年(1996)11月22日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 R 29/08			G 0 1 R 29/08	Z
G 0 6 F 17/00		9168-5L	G 0 6 F 15/20	D

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平7-104934

(22) 出願日 平成7年(1995)4月28日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 大津 信一

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72) 発明者 向井 誠

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 小笠原 吉義 (外2名)

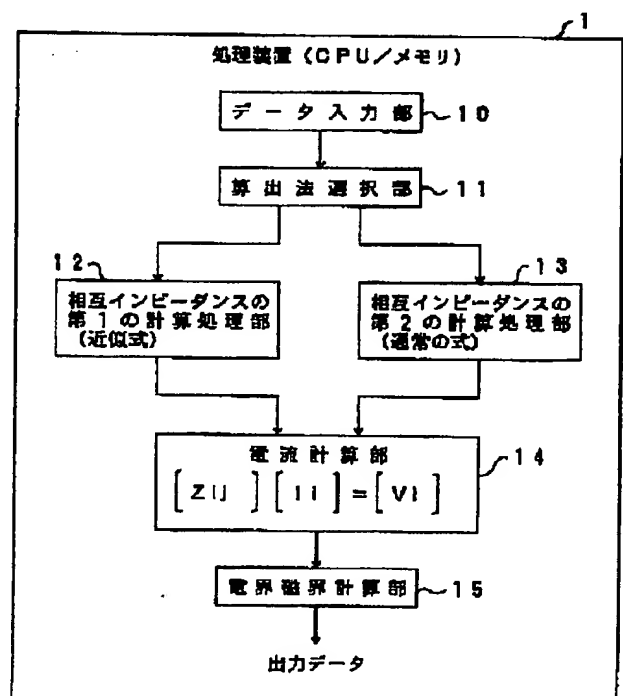
(54) 【発明の名称】 電磁界強度算出装置

(57) 【要約】

【目的】 モーメント法を用いて電気回路装置が放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置に関し、インピーダンス計算における桁落ちによる精度の劣化を防止し、高速で高精度な電磁界強度の算出を可能にすることを目的とする。

【構成】 モノポールの積分において指数関数部分を一定とみなす近似式により相互インピーダンスを計算する第1の計算処理部12と、通常の式により相互インピーダンスを計算する第2の計算処理部13とを用意し、算出法選択部11により、相互インピーダンスの算出対象となる要素の電気長と要素間距離の電気長に基づく適用条件を判定して第1の計算処理部12を用いるか第2の計算処理部13を用いるかを選択する。

本発明の原理構成図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 モーメント法を用いて電気回路装置が放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、解析対象となる電気回路装置の構造情報を入力するデータ入力手段と、モーメント法の連立方程式を構成する相互インピーダンスを計算する際に、要素の電気長が短く遠距離にあるという相互インピーダンスの算出対象の特性に基づいて得られた相互インピーダンスの所定の近似式に基づいて相互インピーダンスを算出する第 1 の計算処理手段と、相互インピーダンスの算出対象が要素の電気長が短く遠距離にあるという条件を満たさない場合に、上記近似式を用いない通常の式により相互インピーダンスを算出する第 2 の計算処理手段と、相互インピーダンスの算出対象となる要素の電気長と要素間距離とに基づいて前記第 1 の計算処理手段を用いるか前記第 2 の計算処理手段を用いるかを選択する算出法選択手段と、算出された相互インピーダンスを用いてモーメント法の連立方程式を構成し、各要素に流れる電流を計算する電流計算部と、算出された電流値を基に電磁界強度を計算する電界磁界計算部とを備えたことを特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の電磁界強度算出装置において、前記第 1 の計算処理手段における相互インピーダンスの算出に用いる近似式は、 $\exp(-jkr)/r$ の計算要素（ただし、 $j = (-1)^{1/2}$ 、 k は波数、 r はモノポール間の距離）をモノポールの積分区間において一定とみなして積分の外に出した式から得られる近似式であることを特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項 3】 請求項 1 記載の電磁界強度算出装置において、前記第 1 の計算処理手段における相互インピーダンスの算出に用いる近似式は、第 1 のモノポールと第 2 のモノポールの相互インピーダンスを Z_{00} 、第 1 のモノポールの長さを $d_1 = |z_1 - z_0|$ （ただし z_1 で電流分布が 0、 z_0 で電流分布が 1）、第 2 のモノポールの長さを $d_2 = |t_1 - t_0|$ （ただし t_1 で電流分布が 0、 t_0 で電流分布が 1）、距離を r 、波数を k 、第 1 のモノポールと第 2 のモノポール間の角を ϕ としたとき、モノポール長 d_1 、 d_2 が波長に対して十分に小さく、かつ距離 r がモノポール長 d_1 、 d_2 に対して十分に大きいことを条件として、

$$Z_{00} = (\eta / 4\pi \sin k d_1 \sin k d_2) \times (1/k r) \times [\sin(kr) [\cos \phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1)] + j \cos(kr) [\cos \phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1)]]$$

（ここで $\eta = (\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2}$ 、 μ_0 ：真空の透磁率、 ϵ_0 ：真空の誘電率）である式を含むことを特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項 4】 請求項 1、請求項 2 または請求項 3 記載の電磁界強度算出装置において、前記算出法選択手段は、モノポールの要素長が略 0.05λ （ λ は波長）以下で、かつ距離が要素長の略 10 倍以上の場合に、前記第 1 の計算処理手段を選択して相互インピーダンスの計算を行わせることを特徴とする電磁界強度算出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置に関し、特に、高速かつ高精度に電磁界強度を算出できるようにした電磁界強度算出装置に関する。

【0002】 電気回路装置から不要放射される電波は、テレビやラジオ等の他の電波と干渉することから、最近、各国で厳しく規制されるようになってきた。このような規制の規格として、日本では VCCI 規格があり、米国では FCC 規格があり、ドイツでは VDE 規格がある。

【0003】 このような電波規制を満足させるためには、シールド技術やフィルタ技術等のような種々の対策技術を使う必要があり、これらの対策技術がどの程度電波を減少させるかを定量的にシミュレートする技術が必要となる。このような電磁波解析のシミュレーションには、膨大な計算機の処理時間が必要になるので、高速かつ高精度で電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する装置が要求される。

【0004】

【従来の技術】 任意形状の物体から放射される電磁界強度は、物体各部に流れる電流が分かれば、公知の理論式を用いて容易に計算することができる。この電流値は、理論的には、マックスウェルの電磁波動方程式を与えられた境界条件の下で解くことで得られるが、任意形状物体を対象とした複雑な境界条件の下での直接的な数式解は現在知られていない。

【0005】 したがって、現在の電磁界強度算出装置で用いられている電流を求める解法は、難易の程度はあるにせよ、すべて近似的なものである。現在、この近似的な解法の代表的なものとして、微小ループアンテナ近似法と、分布定数線路近似法と、モーメント法という 3 種類のものが知られている。

【0006】 微小ループアンテナ近似法は、波源回路と負荷回路との間を接続する配線をループアンテナとして扱い、ループ上の電流は平坦なものと仮定して、これを集中定数回路の計算手法で求める方法である。図 9 に、この微小ループアンテナ近似法の構成を図示する。

【0007】 この微小ループアンテナ近似法による計算は、最も簡単であるが、ループの寸法が電磁波の波長に比べて無視できない条件では精度が極めて低下することから、現実にはほとんど用いられていない。

【0008】また、分布定数線路近似法は、1次元の構造物として近似できる物体に対して、分布定数線路の方程式を適用することで電流を求める方法である。計算は比較的簡単であり、計算時間および記憶容量も解析要素数にほぼ比例して増加するだけで、線路の反射や共振等の現象も含めた解析ができることから、1次元の近似が成立する物体については、高速・高精度の解析ができる。図10に、この分布定数線路近似法の構成を図示する。

【0009】この分布定数線路近似法による計算は、1次元の構造物として近似できる物体については、高速・高精度の解析ができるものの、近似できない物体については解析できないという問題点がある。

【0010】一方、モーメント法は、マックスウェルの電磁波動方程式から導かれる積分方程式の解法の1つであり、3次元の任意形状物体を扱うことができる。具体的には、物体を小さな要素に分割して電流の計算を行うものである。

【0011】このように、モーメント法が3次元の任意形状物体を扱えることから、電磁界強度算出装置では、モーメント法を使って、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するという構成が有力である。

【0012】このモーメント法を用いる方式では、金属対象物を扱うときには、金属部分を解析対象としてメッシュ化し、分割した金属間の相互インピーダンス Z_{ij} を求め、この相互インピーダンス Z_{ij} と、波源 V_i と、分割した金属に流れる電流 I_i との間に成立するモーメント法の連立方程式

$$[Z_{ij}] [I_i] = [V_i]$$

を解いて電流 I_i を求め、この結果から放射される電磁界強度を算出するという方法を採用。ここで、

「 $[]$ 」はマトリクスを表している。

【0013】このようなモーメント法を用いるにあつて、高速演算を実現するために、従来の電磁界強度算出装置では、通常、このモーメント法の連立方程式を構成するための相互インピーダンス Z_{ij} を、倍精度実数による計算で算出している。

【0014】なお、モーメント法についての参考文献としては、以下のものがある。

【参考文献】H.N.Wang, J.H.Richmond and M.C.Gilreath: "Sinusoidal reaction formulation for radiation and scattering from conducting surface" IEEE TRANSACTIONS ANTENNAS PROPAGATION vol.AP-23 1975

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、倍精度実数の算出手法では、積演算のときに下位の有効数字が失われることから、倍精度実数の算出手法を使って相互インピーダンス Z_{ij} を算出していくと、金属メッシュの電気長（放射される電磁波の波長を尺度とする長さ）が短くなるときに桁落ちが発生するので、相互インピーダ

ンス Z_{ij} を正確に算出できないという問題点があった。

【0016】そこで、本発明者等は、特願平6-95362号において、電磁界強度を算出するための相互インピーダンスの計算方法に、通常計算の計算手段と高精度計算の計算手段とを用意し、波長、要素の長さ、距離をチェックして、桁落ちが発生するおそれがある場合には、高精度計算の計算手段を用いて計算する方式を提案している。

【0017】ここで、高精度計算としては、多倍精度実数による計算と多倍長整数計算の2種類があるが、いずれの場合にも計算する桁数が増加するために、計算時間が大幅に増加することになる。

【0018】本発明は、モーメント法による電磁界強度算出装置では、長さが 0.001λ (λ :波長)以下の微小要素（ワイヤーやサーフェスパッチ）で、かつ距離が離れると計算に桁落ちが発生し、計算精度が極端に悪くなること、また、桁落ちが生じないように高精度計算を行うと、計算時間が膨大になることに鑑み、計算精度を落とさずに、高速に電磁界強度を算出できる電磁界強度算出装置を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の原理構成図である。図中、1はCPUおよびメモリ等からなる処理装置であつて、モーメント法に基づいて解析対象となる電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する装置である。データ入力部10は、解析対象となる電気回路装置の構造情報を入力する入力手段である。

【0020】算出法選択部11は、モーメント法に基づいて解析対象となる電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するにあたって、相互インピーダンスの算出対象となる要素の電気長と、要素間距離とを評価し、相互インピーダンスの計算に第1の計算処理部12を用いるか、第2の計算処理部13を用いるかを選択する手段である。例えば、算出法選択部11は、モノポールの要素長が略 0.05λ (λ は波長)以下で、かつ距離が要素長の略10倍以上の場合に、第1の計算処理部12を選択し、それ以外の場合に第2の計算処理部13を選択して相互インピーダンスの計算を行わせる。

【0021】第1の計算処理部12は、モーメント法の連立方程式を構成する相互インピーダンスを計算する際に、要素の電気長が短く遠距離にあるという相互インピーダンスの算出対象の特性に基づいて得られた相互インピーダンスの所定の近似式に基づいて相互インピーダンスを算出する処理手段である。

【0022】第2の計算処理部13は、相互インピーダンスの算出対象が要素の電気長が短く遠距離にあるという条件を満たさない場合に、上記近似式を用いない通常の式により相互インピーダンスを算出する処理手段である。

【0023】具体的には、モーメント法におけるモノポ

ール間の相互インピーダンスを計算する式において、 $\exp(-jkr)/r$ の計算要素(ただし $j = (-1)^{1/2}$, k は波数, r はモノポール間の距離)をモノポールの積分区間において一定とみなして積分の外に出した式から得られる近似式を用いて、相互インピーダンスを算出する。

【0024】さらに具体的には、第1のモノポールと第2のモノポールの相互インピーダンスを Z_{00} 、第1のモノポールの長さを $d_1 = |z_1 - z_0|$ (ただし z_1 で電流分布が0, z_0 で電流分布が1)、第2のモノポールの長さを $d_2 = |t_1 - t_0|$ (ただし t_1 で電流分布が0, t_0 で電流分布が1)、距離を r 、波数を k 、第1のモノポールと第2のモノポール間の角を ϕ としたとき、モノポール長 d_1 、 d_2 が波長に対して十分に小さく、かつ距離 r がモノポール長 d_1 、 d_2 に対して十分に大きいことを条件として、

$$Z_{00} = (\eta / 4\pi \sin k d_1 \sin k d_2) \times (1/k r) \times [\sin(kr) [\cos \phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1)] + j \cos(kr) [\cos \phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1)]]$$

(ここで $\eta = (\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2}$, μ_0 : 真空の透磁率, ϵ_0 : 真空の誘電率)である式を含む近似式を用いて、相互インピーダンスを算出する。

【0025】電流計算部14は、求められた相互インピーダンスから導出されたモーメント法の連立方程式を解くことで、電気回路装置の各部に流れる電流を算出する処理手段である。電界磁界計算部15は、電流計算部14の計算結果から電気回路装置の放射する電磁界強度を計算し、結果を出力する処理手段である。

【0026】

【作用】モーメント法の連立方程式に用いる相互インピーダンスの計算において、モノポールの長さが、例えば 0.001λ (λ : 波長)以下の微小要素(ワイヤーやサーフェイパッチ)で、かつ距離が離れると、計算に桁落ちが発生するのは、モノポールの積分内に $\exp(-jkr)/r$ の指数関数が含まれることが大きな原因の一つとなっている。また、これが計算時間を長くする原因ともなっている。

【0027】本発明は、この点に着目し、 $\exp(-jkr)/r$ を積分区間で一定としてみなして計算する第1の計算処理部12と、それ以外の通常の計算を行う第2の計算処理部13とを用意し、これらの計算手段を要素長と距離に関する適用条件によって使い分けることを最も主要な特徴とする。これにより、通常の倍精度計算*

$$\begin{aligned} & \int \int \sin k(-z + z_1) \sin k(-t + t_1) dz dt \\ &= \int_{z_0}^{z_1} \sin k(-z + z_1) dz \int_{t_0}^{t_1} \sin k(-t + t_1) dt \\ &= |(1/k) \cos k(z - z_1)|_{z_0}^{z_1} \times \end{aligned}$$

*を行っても、計算精度を落とさないで高速な計算が可能になる。

【0028】 $\exp(-jkr)/r$ の指数関数部分を積分区間で一定とみなした近似式を、図2(A)の例で説明すると以下のとおりである。図2において、20、21はモノポール、22、23はモノポールの電流分布を表す。これらの間の相互インピーダンス Z_{00} を求めるものとする。記号を次のように定義する。

【0029】

- 10 モノポール20の長さ: $d_1 = |z_1 - z_0|$
(ただし z_1 で電流分布が0, z_0 で電流分布が1)、
モノポール21の長さ: $d_2 = |t_1 - t_0|$
(ただし t_1 で電流分布が0, t_0 で電流分布が1)、
距離: $r = (z^2 + t^2 - 2zt \cos \phi + h^2)^{1/2}$
(モノポール20を含む平面とモノポール21を含む平面で、かつ平行な2平面が存在する。 h はそれら2平面間の距離である)。

- 20 【0030】よく知られているように、図2(A)に示すモノポール間のインピーダンスの厳密式は、以下のとおりである。

(1) 相互インピーダンスの厳密式(通常の式)

$$Z_{00} = (j\omega\mu / 4\pi \sin k d_1 \sin k d_2) \times [\int \int \sin k(-z + z_1) \sin k(-t + t_1) \cos \phi \times (\exp(-jkr)/r) dz dt - \int \int \cos k(-z + z_1) \cos k(-t + t_1) \times (\exp(-jkr)/r) dz dt]$$

ここで、 $\int \int$ は t_0 から t_1 までと z_0 から z_1 までの積分を表す。

(2) 近似の条件

- 30 上記厳密式で、積分内の $(\exp(-jkr)/r)$ をほぼ一定とみなせれば、積分の外に出すことが可能である。

【0031】

ここで、 $k = 2\pi/\lambda$, k : 波数, λ : 波長。

モノポール長 d_1 、 d_2 が波長 λ に対して十分に小さく、かつ距離 r がモノポール長 d_1 、 d_2 に対して十分に大きいとする。そうすると、 z の変化 $z_0 \sim z_1$ と t の変化 $t_0 \sim t_1$ に対し、 $(\exp(-jkr)/r)$ の変化は小さく、ほぼ一定として積分の外に出すことができる。

- 40 (3) 相互インピーダンスの近似式

$$Z_{00} \approx (j\omega\mu / 4\pi \sin k d_1 \sin k d_2) \times (\exp(-jkr)/r) \times [\cos \phi \int \int \sin k(-z + z_1) \sin k(-t + t_1) dz dt - \int \int \cos k(-z + z_1) \cos k(-t + t_1) dz dt]$$

積分の中は、次のように積分公式により簡単化できる。

【0032】

$$\begin{aligned} & \left| (1/k) \cos k(t-t_1) \right|_{t_0}^{t_1} \\ &= (1/k^2) [1 - \cos k(z_0 - z_1)] \times \\ & \quad [1 - \cos k(t_0 - t_1)] \end{aligned}$$

また,

$$\begin{aligned} & \int \int \cos k(-z+z_1) \cos k(-t+t_1) dz dt \\ &= \int_{z_0}^{z_1} \cos k(-z+z_1) dz \int_{t_0}^{t_1} \cos k(-t+t_1) dt \\ &= \left| (1/k) \sin k(z-z_1) \right|_{z_0}^{z_1} \times \\ & \quad \left| (1/k) \sin k(t-t_1) \right|_{t_0}^{t_1} \\ &= (1/k^2) \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1) \end{aligned}$$

これから、最終的にインピーダンス Z_{00} は、次のように 10*【0033】
近似できる。

$$\begin{aligned} Z_{00} &\div (j\omega\mu/4\pi \sin kd_1 \sin kd_2) \times (1/k^2) \times \\ & \quad (\exp(-jkr)/r) \times \\ & \quad [\cos\phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \\ & \quad \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1)] \\ &= (j\omega\mu/4\pi \sin kd_1 \sin kd_2) \times (1/k^2) \times (1/r) \times \\ & \quad [\cos(kr) [\cos\phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] \times \\ & \quad [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \\ & \quad \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1)] - \\ & \quad j \sin(kr) [\cos\phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] \times \\ & \quad [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \\ & \quad \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1)]] \\ &= (\eta/4\pi \sin kd_1 \sin kd_2) \times (1/kr) \times \\ & \quad [\sin(kr) [\cos\phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] \times \\ & \quad [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \\ & \quad \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1)] + \\ & \quad j \cos(kr) [\cos\phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] \times \\ & \quad [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \\ & \quad \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1)]] \end{aligned}$$

図2の(B), (C), (D)に示す Z_{01} , Z_{10} , Z_{11} 30
についても同様である。

【0034】以上のように要素が短く、遠距離にあるという条件から、インピーダンスの近似式が得られる。この近似式は、要素長が0.05λ以下で、かつ距離が要素長の10倍以上の場合に有効であることが確かめられた。したがって、要素長が0.001λ以下で析落ちが発生する場合に限らず、この近似式を微小要素以外にも適用できるため、計算の高速化を図ることができる。

【0035】電流計算部14は、こうして求められた相互インピーダンスからモーメント法の連立方程式を導出し、電気回路装置に流れる電流を計算する。電界磁界計算部15は、この計算結果から電気回路装置の放射する電磁界強度を計算し、計算された電磁界強度を例えば図式化して出力する。

【0036】

【実施例】図3および図4に、本発明の一実施例の処理フローチャートを示す。図中、30は入力データファイルであって、解析対象となるメッシュ化された電気回路装置の構造体情報を管理するもの、31は判断テーブルであって、相互インピーダンスの算出手法の選択に用い

る判断データを管理するもの、32は出力データファイルであって、算出された電磁界強度を格納するものである。

【0037】判断テーブル31は、相互インピーダンスの算出対象となる2つの金属要素の電気長の代表値と、2つの金属要素の距離の電気長とを検索キーにして、図1に示す第1の計算処理部12を用いるか、第2の計算処理部13を用いるかを決定する情報を保持するものである。また、第1の計算処理部12において、相互インピーダンスの計算に厳密式と近似式の双方を用いる場合には、そのどちらを用いるかを決定する情報も保持する。なお、判断テーブル31を用いずに、電気長および距離と所定の閾値との比較によって、算出法を判断してもよい。2つの金属要素の電気長の代表値としては、2つの電気長の小さい方や、2つの電気長の平均値や、2つの電気長の掛け算値の平方根等が用いられる。ここで、電気長とは、電磁波の波長λを尺度とする長さである。

【0038】電磁界強度算出装置は、起動されると、図3および図4の処理フローに示すように、最初にステップST1で、入力データファイル30からメッシュ化さ

れた電気回路装置の構造体情報を読み込んで、金属要素や他のデータ（周波数等）を構造体、配列として設定する。

【0039】次に、ステップST2で、処理済の周波数をカウントすることで、登録されている全周波数についての処理が終了したか否かを判断する。終了した場合には電磁界強度算出の処理を終了し、未処理の周波数がある場合には、次に処理する周波数を未処理の中から1つ選択して、続くステップST3で、この選択した周波数の波長 λ を計算する。

【0040】続いて、順次、相互インピーダンス Z_{ij} を算出するために、ステップST4およびST5のループ判定処理により、 m 個ある金属要素の中から要素 i （ $i=1\sim m$ ）と要素 j （ $j=1\sim m$ ）を選択し、これらのすべての組み合わせについて、ステップST6以下の処理を繰り返す。

【0041】ステップST6では、相互インピーダンス Z_{ij} の算出対象として選択した2つの金属要素の距離の電気長を特定するとともに、2つの金属要素の電気長の代表値を算出して、この2つの電気長、代表値を検索キーにして判断テーブル31を検索することで、相互インピーダンス Z_{ij} の算出を通常の式で行うか、本発明で提案した近似式で行うかを判断する。

【0042】通常の式で算出する場合には、ステップST7に進み、通常の式を用いた倍精度実数による相互インピーダンス Z_{ij} を計算する。一方、近似式で算出する場合には、ステップST8へ進み、前述した近似式を用いて相互インピーダンス Z_{ij} の計算を行う。

【0043】要素 i の一つについて、要素 j の1から m までステップST6～ST8を繰り返したならば、次の要素 i に移り、同様に処理を繰り返す。すべての要素 i （ $i=1\sim m$ ）について計算が終わったならば、ステップST9へ進む。

【0044】ステップST9では、算出した相互インピーダンス Z_{ij} と、入力データファイル30から読み込んだ波源 V_1 とを使って、金属要素に流れる電流 I_1 を未知数とするモーメント法の連立方程式

$$[Z_{ij}] [I_1] = [V_1]$$

を導出し、これを解くことで、金属要素に流れる電流 I_1 を求める。

【0045】そして、続くステップST10で、処理済の観測点をカウントすることで、登録されている全観測点についての処理が終了したか否かを判断し、終了した場合にはステップST2に戻り、次の周波数について同様に処理を繰り返す。全観測点についての処理が終了していない場合には、ステップST11に進んで、算出した電流 I_1 が観測点にもたらす電磁界強度を規定の算出式に従って算出する。その算出結果を出力データファイル32に格納してからステップST10に戻り、すべての観測点について電界・磁界を計算する。

【0046】上記ステップST9による電流計算およびステップST11による電界磁界の計算法については、従来から知られている方法を用いることができるので、ここでの詳細な説明は省略する。

【0047】このようにして、本発明では、モーメント法の連立方程式に用いる相互インピーダンス Z_{ij} の算出にあたって、要素の電気長が短く遠距離にあるという相互インピーダンスの算出対象の特性に着目して得られた相互インピーダンスの所定の近似式に基づいて相互インピーダンスを算出するので、計算時間の増大化を防ぐことができる。この近似式を用いれば、指数積分に相当する計算部分がなくなるので、桁落ちの発生も少なくなり、精度の劣化の防止にもなる。また、この近似式を用いた計算を、多倍精度実数や多倍長整数による高精度計算で行っても、従来の高精度計算で行うときに比べて式が単純化されるため、かなり的高速化が可能になる。

【0048】図2に示す(A)～(D)の各ケースにおけるモノポール間の相互インピーダンスの計算に用いる近似式は、以下のとおりである。これらの式の適用条件としては、各モノポールの長さを d_1 、 d_2 とすると、距離 $r \gg d_1$ 、 d_2 、かつ波長 $\lambda \gg d_1$ 、 d_2 である。

【0049】図2(A)に示すモノポール($z_0 - z_1$)20とモノポール($t_0 - t_1$)21間の相互インピーダンス Z_{00} は、「作用」の欄で説明した次のような近似式が利用される。

【0050】〔厳密式〕

$$Z_{00} = (j\omega\mu/4\pi \sin kd_1 \sin kd_2) \times [\int \int \sin k(-z+z_1) \sin k(-t+t_1) \cos \phi \times (\exp(-jk r)/r) dz dt - \int \int \cos k(-z+z_1) \cos k(-t+t_1) \times (\exp(-jk r)/r) dz dt]$$

ここで、 $\int \int$ は t_0 から t_1 までと z_0 から z_1 までの積分を表す。

【0051】〔近似式〕

$$Z_{00} \approx (\eta/4\pi \sin kd_1 \sin kd_2) \times (1/k r) \times [\sin(kr) [\cos \phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)]] \times [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1) + j \cos(kr) [\cos \phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)]] \times [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_0 - t_1)]]$$

図2(B)に示すモノポール($z_0 - z_1$)20とモノポール($t_0 - t_1$)21間の相互インピーダンス Z_{01} は、同様に次のような近似式が利用される。

【0052】〔厳密式〕

$$Z_{01} = (j\omega\mu/4\pi \sin kd_1 \sin kd_2) \times [\int \int \sin k(-z+z_1) \sin k(t-t_0) \cos \phi \times (\exp(-jk r)/r) dz dt + \int \int \cos k(-z+z_1) \cos k(t-t_0) \times (\exp(-jk r)/r) dz dt]$$

ここで、 $\int \int$ は t_0 から t_1 までと z_0 から z_1 までの積分を表す。

【0053】〔近似式〕

$$Z_{01} \approx (\eta / 4 \pi \sin k d_1 \sin k d_2) \times (1 / k r) \times [\sin(k r) [\cos \phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] \times [1 - \cos k(t_1 - t_0)] - \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_1 - t_0)] + j \cos(k r) [\cos \phi [1 - \cos k(z_0 - z_1)] \times [1 - \cos k(t_1 - t_0)] - \sin k(z_0 - z_1) \sin k(t_1 - t_0)]]$$

図 2 (C) に示すモノポール ($z_0 - z_1$) 20 とモノポール ($t_0 - t_1$) 21 間の相互インピーダンス Z_{10} は、同様に次のような近似式が利用される。

【0054】〔厳密式〕

$$Z_{10} = (j \omega \mu / 4 \pi \sin k d_1 \sin k d_2) \times [\int \int \sin k(z - z_0) \sin k(-t + t_1) \cos \phi \times (\exp(-j k r) / r) dz dt - \int \int \cos k(z - z_0) \cos k(-t + t_1) \times (\exp(-j k r) / r) dz dt]$$

ここで、 $\int \int$ は t_0 から t_1 までと z_0 から z_1 までの積分を表す。

【0055】〔近似式〕

$$Z_{10} \approx (\eta / 4 \pi \sin k d_1 \sin k d_2) \times (1 / k r) \times [\sin(k r) [\cos \phi [1 - \cos k(z_1 - z_0)] \times [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \sin k(z_1 - z_0) \sin k(t_0 - t_1)] + j \cos(k r) [\cos \phi [1 - \cos k(z_1 - z_0)] \times [1 - \cos k(t_0 - t_1)] - \sin k(z_1 - z_0) \sin k(t_0 - t_1)]]$$

図 2 (D) に示すモノポール ($z_0 - z_1$) 20 とモノポール ($t_0 - t_1$) 21 間の相互インピーダンス Z_{11} は、同様に次のような近似式が利用される。

【0056】〔厳密式〕

$$Z_{11} = (j \omega \mu / 4 \pi \sin k d_1 \sin k d_2) \times [\int \int \sin k(z - z_0) \sin k(t - t_0) \cos \phi \times (\exp(-j k r) / r) dz dt - \int \int \cos k(z - z_0) \cos k(t - t_0) \times (\exp(-j k r) / r) dz dt]$$

ここで、 $\int \int$ は t_0 から t_1 までと z_0 から z_1 までの積分を表す。

【0057】〔近似式〕

$$Z_{11} \approx (\eta / 4 \pi \sin k d_1 \sin k d_2) \times (1 / k r) \times [\sin(k r) [\cos \phi [1 - \cos k(z_1 - z_0)] \times [1 - \cos k(t_1 - t_0)] - \sin k(z_1 - z_0) \sin k(t_1 - t_0)] + j \cos(k r) [\cos \phi [1 - \cos k(z_1 - z_0)] \times [1 - \cos k(t_1 - t_0)] - \sin k(z_1 - z_0) \sin k(t_1 - t_0)]]$$

以上の式中、 η は $(\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2}$ である。

【0058】図 5 に示すようなダイポールのモデルにつ

いて、通常計算と従来の高精度計算（多倍精度実数または多倍長整数）と本発明で提案した近似式を用いた計算により算出した結果を、それぞれ図 6、図 7、図 8 に示す。この計算結果は、周波数を 30 MHz、すなわち $\lambda = 10$ m とした場合の計算例である。モノポール 20、21 の長さは、どちらも 0.0001 m とした。2 つの金属ワイヤダイポール m、n 間の相互インピーダンス Z_{mn} は、 $Z_{00} + Z_{01} + Z_{10} + Z_{11}$ である。

【0059】従来の厳密式を用いた倍精度実数による通常計算の計算結果は、図 6 に示すとおりであった。また、図 6 に示す計算に要した時間は 6 秒であった。 r が 0.05 m 以上では、桁落ちが発生し、精度が劣化した。

【0060】また、従来の厳密式を用いた固定小数点の多倍長整数を用いた高精度計算による計算結果は、図 7 に示すとおりであった。精度はよいが、計算に要した時間は、380 秒であった。

【0061】これに対し、距離 r が 0.001 m 以上のものに先に述べた近似式を用いて計算した結果は、図 8 に示すとおりであった。指数積分を用いないので、桁落ちなどによる精度の劣化はなく、また計算時間が 4 秒とかなりの改善が見られた。

【0062】なお、本発明は、電気回路装置のすべての部分にモーメント法を用いる場合だけではなく、一部にのみモーメント法を用いる場合にも適用できることは言うまでもない。

【0063】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するにあつて、要素の電気長が短く遠距離にあるという相互インピーダンスの算出対象の特性に基づいて得られた相互インピーダンスの所定の近似式に基づいて相互インピーダンスを算出することにより、電気回路装置の放射する電磁界強度を高速かつ高精度に算出できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の原理構成図である。

【図 2】本発明の実行する処理フローの一実施例である。

【図 3】本発明の一実施例の処理フローチャートである。

【図 4】本発明の一実施例の処理フローチャートである。

【図 5】2 つのダイポール間の相互インピーダンスの計算例説明図である。

【図 6】図 5 に示すモデルの従来の通常計算による計算結果の例を示す図である。

【図 7】図 5 に示すモデルの従来の高精度計算による計算結果の例を示す図である。

【図 8】図 5 に示すモデルの本発明を適用した近似計算

13

14

による計算結果の例を示す図である。

【図9】微小ループアンテナ近似法の説明図である。

【図10】分布定数線路近似法の説明図である。

【符号の説明】

1 処理装置 (CPU/メモリ)

10 データ入力部

11 算出法選択部

12 第1の計算処理部

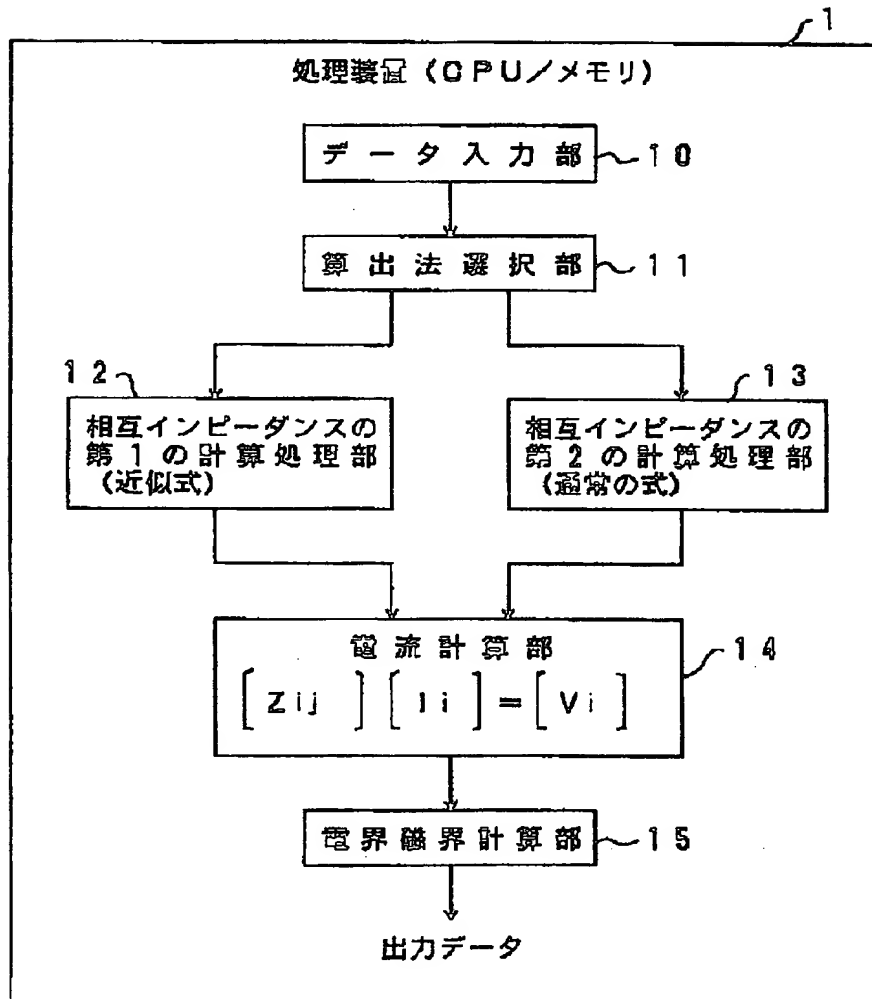
13 第2の計算処理部

14 電流計算部

15 電界磁界計算部

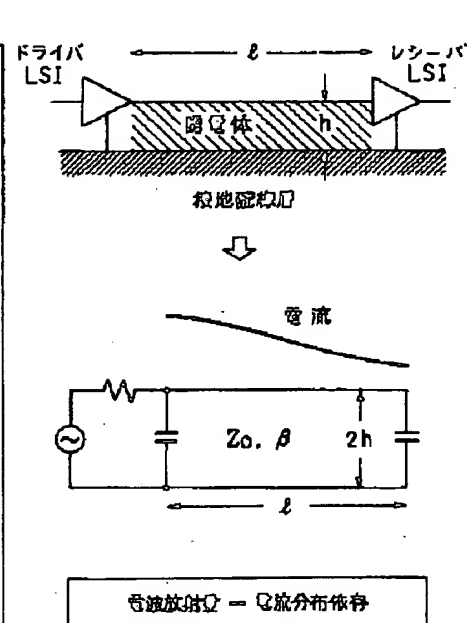
【図1】

本発明の原理構成図

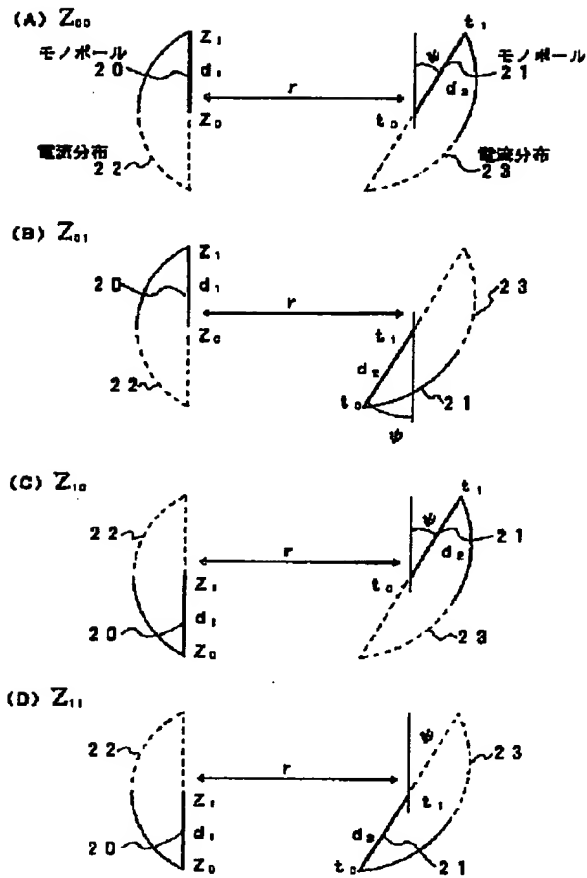


【図10】

分布定数線路近似法の説明図

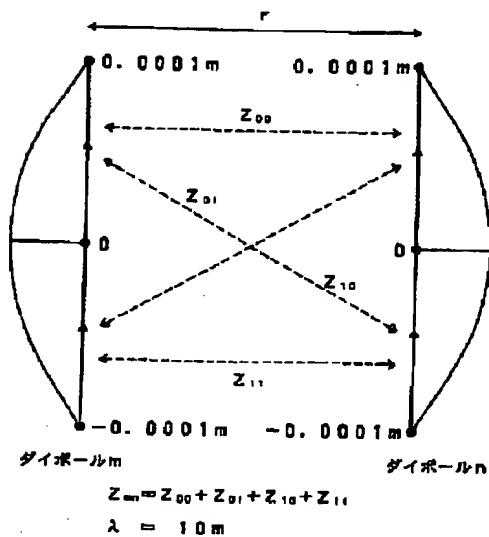


【図2】



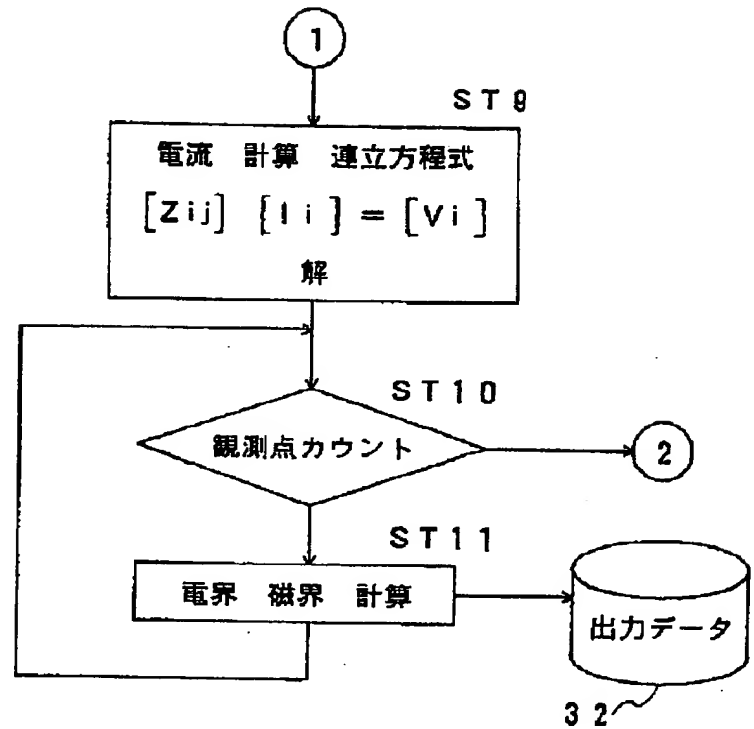
【図5】

2つのダイポール間の相互インピーダンスの計算例説明図



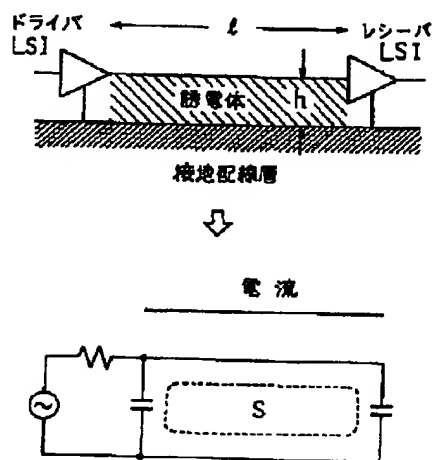
【図4】

本発明を実行する処理フローの一実施例



【図9】

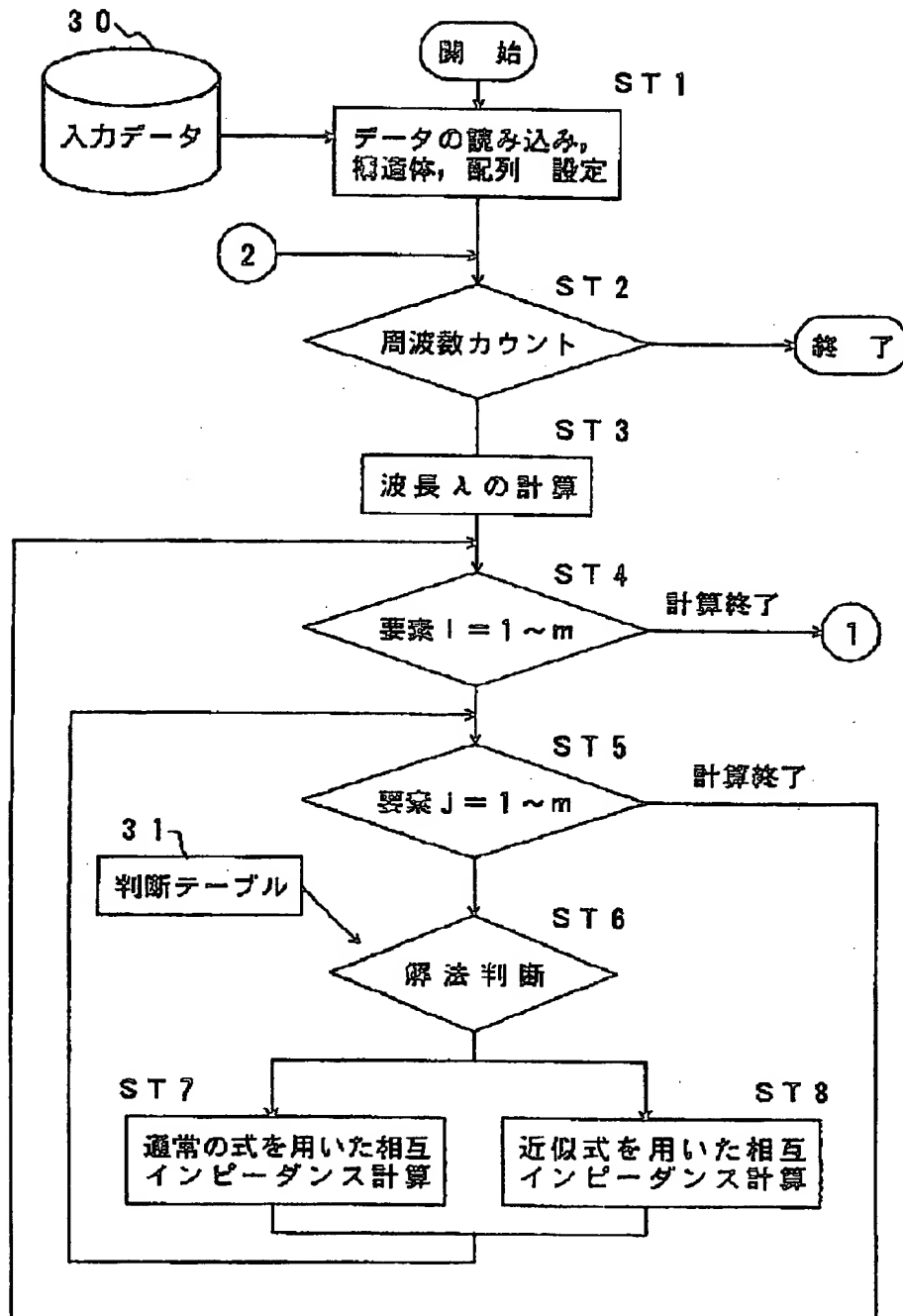
微小ループアンテナ近似法の説明図



$$\text{電波放射量} \propto \text{周波数}^2 \times \text{電流} \times \text{ループ面積 (一掃)}$$

【図 3】

本発明を実行する処理フローの一実施例



【図 6】

計算結果の例

従来の通算計算 (計算に要した時間=8秒)		
距離 r (m)	実数部	虚数部
r=0.0001	7.901145683267608e-008	-2.073500351890745e+005
r=0.001	7.900821161753108e-008	-4.69789389485448e+002
r=0.003	7.900286751803473e-008	-1.763002637238687e+001
r=0.005	7.901472542926058e-008	-3.812130885861036e+000
r=0.01	7.894957576581874e-008	-4.797238511088413e-001
r=0.03	7.928259283521478e-008	-1.765578677576084e-002
r=0.05	8.454023889781883e-008	-3.812049474818107e-003
r=0.1	8.898224568340528e-008	-4.758240836508776e-004
r=0.3	9.246071641855382e-008	-1.738894853385811e-005
r=0.5	2.378878312205822e-007	-4.208810888082557e-008
r=1	8.779882942637484e-007	-8.931488791408810e-008
r=10	5.510730838751127e-008	-1.05422462293888e-008

→ 桁落ち・精度劣化

【図 7】

計算結果の例

従来の高精度計算 (計算に要した時間=380秒)		
距離 r (m)	実数部	虚数部
r=0.0001	7.901149245981287e-008	-2.073500351890748e+005
r=0.001	7.901147114353080e-008	-4.697893889405559e+002
r=0.003	7.901143581839401e-008	-1.763002638921374e+001
r=0.005	7.901132803488385e-008	-3.812130887360788e+000
r=0.01	7.90108800767804e-008	-4.797238511843338e-001
r=0.03	7.900585075048084e-008	-1.76559392774875e-002
r=0.05	7.899587473048086e-008	-3.812530219510801e-003
r=0.1	7.894901443705749e-008	-4.758641832722788e-004
r=0.3	7.845032001798428e-008	-1.73538224110648e-005
r=0.5	7.745795471691063e-008	-3.639785803581018e-008
r=1	7.288528788406637e-008	-4.094822445574412e-007
r=10	3.077795122929938e-009	1.835954144200181e-008

【図8】

計測結果 例

R(r) (m)	本発明で適用した近回計測 (計測に要した時間=4秒)	
	受信部	送信部
r=0.0001	7.801145863287608e-008	-2.073500351880745e+005
r=0.001	7.801147824895618e-008	-4.73257882884038e+002
r=0.008	7.801143561638401e-008	-1.784488500808264e+001
r=0.005	7.801135035126572e-008	-3.813273885303927e+000
r=0.01	7.801088007877804e-008	-4.787584011884278e-001
r=0.03	7.800587206677301e-008	-1.785814108871708e-002
r=0.05	7.899587473048088e-008	-3.812541882455280e-003
r=0.1	7.884804888418427e-008	-4.758845488173834e-004
r=0.3	7.845030580710854e-008	-1.7353823888889375e-005
r=0.5	7.745788182234889e-008	-3.638785717288751e-006
r=1	7.288538217482008e-008	-4.084922445574012e-007
r=10	3.07788180175850e-008	1.835854321904885e-008

→ 近回計測による